

出力極性制御を適用した SNDM ポテンシオメトリによる 半導体キャリア分布測定

Carrier distribution measurements of semiconductors by SNDM potentiometry with output-polarity control

龍谷大¹, 東芝ナノアナリシス² ○宮戸 祐治¹, 野崎 博樹², 間山 憲仁²

Ryukoku Univ.¹, Toshiba Nanoanalysis Corp.² °Y. Miyato¹, H. Nozaki², N. Mayama²

E-mail: miyato@rins.ryukoku.ac.jp

走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)は、超高感度な局所容量計測手法の1つであり、半導体キャリア濃度分布を幅広いダイナミックレンジで計測できる能力を有する優れた手法である[1]。金属コート探針を半導体試料にコンタクトさせると MOS キャパシタが形成されるので、通常の SNDM ではその C-V カーブの傾き(dC/dV)に相当する信号を測定し画像化する。この dC/dV 信号強度は、直流バイアス電圧にも依存する。Fig. 1 に示すように C-V カーブが最も急峻となる変曲点において、dC/dV 信号は極値をとる(以降、このバイアス電圧を変曲点電圧: V_{ip} と呼ぶ)。従来、SNDM の測定においては、直流バイアスを印加せず、つまりゼロに固定して測定するのが通常であったが、キャリア濃度だけでなく試料表面にトラップされた電荷(フラットバンドシフトの原因)にも C-V カーブは依存するので、dC/dV 信号は一意に決まらない。そのため、得られた dC/dV 信号を元に濃度を推定することは難しく、表面電荷の状態によっては p/n の極性さえも反転することが起こり得る。そこで本研究では、定量性や信頼性を向上することを目的に、SNDM ポテンシオメトリ(SNDP)を応用して変曲点電圧にバイアス電圧をトラッキングし、dC/dV 画像を取得することを試みている。具体的には d^2C/dV^2 信号がゼロになるように電圧フィードバック制御をすれば良く、その効果について検証している[2]。また、こ

れと同様の手法が走査容量力顕微鏡でも報告されている[3]。しかし、Fig. 1 に示したように p 型、n 型半導体で C-V カーブの極性が変わるため、変曲点電圧にトラッキングするにはフィードバック極性を適宜、逆にする必要があるが、これを達成した例は報告はされていない。今回、極性に応じてバイアスフィードバック制御する手法を開発したので、その内容について報告する。

今回の SNDP における核心は、Fig. 1 に示したように p 型と n 型の違いで dC/dV 信号と d^2C/dV^2 信号の両方の極性が変わることを利用し、dC/dV 信号の正負で d^2C/dV^2 信号によるフィードバック制御電圧の極性を反転させることである。それを実現する装置セットアップを Fig. 2 に示す。交流バイアス(周波数: ω)で変調し、その時の SNDM 信号の ω 成分と 2ω 成分をロックイン検波する。それぞれ、dC/dV および d^2C/dV^2 信号に対応する。 ω 成分の正負により、 2ω 成分の d^2C/dV^2 信号によるフィードバック制御電圧の極性を反転させる回路を、FPGA で実現した。これにより、p 型/n 型どちらの半導体でも変曲点電圧にバイアス電圧をトラッキングできる。発表当日は詳細な結果および現状の課題等についても議論する。

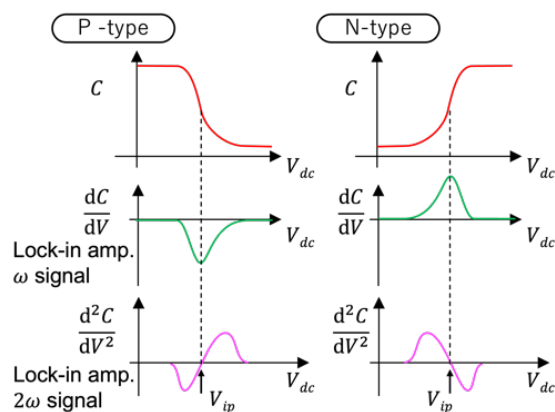


Fig.1 C-V curves obtained in p- and n-type semiconductors. The dC/dV and d^2C/dV^2 curves correspond to ω and 2ω signals detected by a lock-in amplifier, respectively.

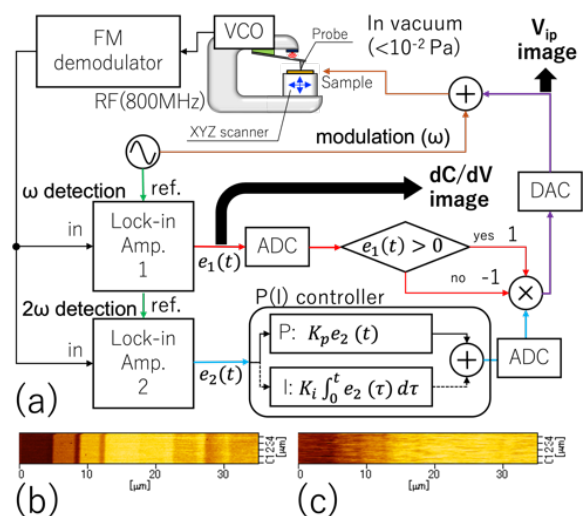


Fig.2 (a) Setup of SNDM potentiometry with output-polarity control for tracking the inflection point in the C-V curve. (b) dC/dV and (c) V_{ip} images of a p-type standard sample obtained by this setup.

[1] Y. Cho, Jpn. J. Appl. Phys. 56, 100101 (2017).

[2] 宮戸 他, 第 84 回応用物理学会秋季講演会 22p-A307-2 (2023).

[3] R. Fukuzawa, *et al.*, Meas. Sci. Tech. 33 065405 (2022).